Journal of Agricultural Machinery
Vol. 11, No. 2, Fall- Winter 2021, p. 505-523

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۴۰۰، ص ۵۲۳-۵۰۵

مقاله علمی-پژوهشی

مقایسه جریان انرژی تولید گندم آبی و تحلیل اقتصاد انرژی در برخی مناطق ایران

عادل واحدی[1*]، سعید ظریف نشاط[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۱۶

چکیده

با افزایش جمعیت و محدودیت‌های منابع تولید در آینده دسترسی به منابع انرژی به‌مقدار کافی مشکل خواهد بود. ارزیابی بیلان انرژی می‌تواند یک روش علمی برای اندازه‌گیری میزان ثبات و پایداری یک اکوسیستم زراعی باشد. مطالعه حاضر با هدف بررسی الگوی مصرف انرژی و تعیین شاخص‌های انرژی تولید گندم آبی اقلیم‌های مختلف در استان‌های البرز، اصفهان، اردبیل، خراسان‌رضوی، خوزستان، گلستان و همدان انجام شد. اطلاعات مورد نیاز تحقیق از طریق تکمیل ۲۸۶ پرسشنامه با مصاحبهٔ حضوری و مطالعات اسنادی بر پایهٔ دو ستانده (دانه گندم و کاه) و هشت نهاده ورودی شامل نیروی انسانی، سوخت فسیلی، ماشین‌ها و ادوات، آبیاری، کود شیمیایی، سموم، الکتریسیته و بذر در سال ۱۳۹۷ جمع‌آوری شد. با استفاده از ضرایب هم‌ارز انرژی، مقدار نهاده‌های مصرفی و ستانده‌های تولید، انرژی ورودی و خروجی و شاخص‌های کارایی انرژی، بهره‌وری انرژی، شدت انرژی و افزوده خالص انرژی بررسی گردید. طبق نتایج میانگین انرژی ورودی، انرژی ستانده، کارایی انرژی، بهره‌وری انرژی و افزوده خالص انرژی در استان‌های مورد مطالعه به‌ترتیب ۵۸۳۰۸/۸۳ مگاژول بر هکتار، ۱۳۶۰۹۲/۱۵ مگاژول بر هکتار، ۲/۸۷، ۰/۲۱۲ کیلوگرم بر مگاژول و ۷۷۷۸۳/۳۱ مگاژول بر هکتار به‌دست آمد. بیشترین سهم انرژی نهاده‌های مصرفی برای استان‌های البرز، اردبیل، خوزستان، گلستان و همدان مربوط به انرژی کودهای شیمیایی و برای استان‌های اصفهان و خراسان‌رضوی انرژی آبیاری بود. کارآیی انرژی برای استان‌های البرز، اصفهان، اردبیل، خراسان‌رضوی، خوزستان، گلستان و همدان به‌ترتیب ۳/۵۷، ۱/۴۲، ۳/۴۸، ۱/۱۷، ۲/۷۸، ۵/۱۲ و ۲/۵۴ و بهره‌وری انرژی به‌ترتیب ۰/۲۶، ۰/۱۱، ۰/۲۶، ۰/۰۸، ۰/۲۱، ۰/۳۸، ۰/۱۸ کیلوگرم بر مگاژول به‌دست آمد. متوسط هزینه کل انرژی ۵۷/۹۶۶ میلیون ریال بر هکتار و میانگین مقدار شاخص‌های شدت انرژی، ارزش شدت انرژی، هزینه شدت انرژی و هزینه نسبی انرژی به‌ترتیب برابر ۱/۲۹ مگاژول بر هزار ریال، ۰/۶۴۱ مگاژول بر هزار ریال، ۱۰۸۵۳/۰۵ ریال بر کیلوگرم و ۱/۲۱ محاسبه شد. نتایج نشان می‌دهد تولید گندم آبی در مناطق مورد مطالعه به لحاظ بیلان انرژی توجیه‌پذیر بوده و با مدیریت زراعی مناسب می‌توان کارایی و بهره‌وری انرژی تولید گندم آبی را افزایش و نسبت به کاهش سهم استفاده از انرژی نهاده‌های تجدیدناپذیر در تولید گندم آبی اقدام نمود.

واژه‌های کلیدی: ستانده‌ها، کارآیی انرژی، گندم، نهاده‌ها، هزینه شدت انرژی

مقدمه

پژوهش‌ها نشان داده است که با رشد مکانیزاسیون و استفاده از مواد شیمیایی در کشاورزی، کارآیی انرژی به‌تدریج کاهش می‌یابد (Darlington, 1997). اندازه جمعیت شاغل در کشاورزی، مقدار زمین‌های قابل کشت و سطح مکانیزاسیون مهم‌ترین فاکتورهای بهره‌برداری انرژی در بخش کشاورزی‌اند (Alam *et al.*, 2005). مطالعاتی که تاکنون در مورد مصرف انرژی در بخش کشاورزی کشور صورت پذیرفته‌اند، این واقعیت را منعکس می‌کنند که مصرف انرژی در بخش کشاورزی هرساله در حال افزایش می‌باشد (Taheri Asl, 2011). کشاورزی در نیم قرن اخیر به‌علت وابستگی شدید به نهاده‌های متعدد، بیش از پیش یکی از بخش‌های پرمصرف انرژی می‌باشد (Sefeedpari *et al.*, 2014). امروزه برای تولید محصولات کشاورزی، نهاده‌هایی مانند، سوخت، الکتریسیته، ماشین‌ها، بذر، کود شیمیایی و سموم شیمیایی سهم قابل ملاحظه‌ای در تامین منابع انرژی دارند (Hamedani *et al.*, 2011). این تنوع نهاده‌ها تغییرات قابل ملاحظه‌ای در الگوی مصرف انرژی بخش کشاورزی ایجاد کرده و موجب وابستگی بیشتر به منابع انرژی سوخت‌های فسیلی شده است (Mousavi-Avval *et al.*, 2011). این امر می‌تواند اثراتی منفی بر محیط‌زیست و سلامت عمومی ایجاد کند و منجر به استفاده مازاد از منابع طبیعی شود. لذا این مساله اهمیت و ضرورت بررسی الگوی مصرف انرژی به‌منظور استفاده موثر از آن در بخش کشاورزی را آشکار می‌سازد (Rafiee *et al.*, 2010). محدودیت زمین‌های زراعی، افزایش جمعیت، تغییر در زیر ساخت‌ها و تمایل به استانداردهای بالای زندگی عواملی هستند که مصرف انرژی در بخش کشاورزی را افزایش داده‌اند. استفاده موثر از انرژی در کشاورزی یکی از مهم‌ترین نیازهای توسعه پایدار در کشاورزی می‌باشد (Mohammadi *et al.*, 2011). مصرف انرژی در کشاورزی به دو صورت مستقیم و

۱- دانشیار بخش تحقیقات ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۲- دانشیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: vahedi_adel@yahoo.com)
DOI: 10.22067/jam.v11i2.81747

غیرمستقیم، تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر طبقه‌بندی می‌شود. ممیزی انرژی یکی از رایج‌ترین روش‌ها به‌منظور بررسی کارآیی انرژی و اثرات زیست‌محیطی سامانه‌های تولید می‌باشد (Hamedani *et al.*, 2011). تجزیه و تحلیل انرژی نشان خواهد داد که چه مقدار انرژی به‌صورت موثر استفاده شده است. بنابراین کشاورزی و انرژی دارای یک ساختار مکمل هستند و بر یکدیگر اثر می‌گذارند (Moghimi *et al.*, 2013).

گیاه گندم به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین مواد غذایی و زراعی از جایگاه ویژه‌ای در دنیا برخوردار است و در شمار اصلی‌ترین غذای تأمین انرژی انسان‌ها قرار گرفته است. در ایران نیز گندم مهم‌ترین گیاه زراعی به‌شمار می‌رود به‌طوری که بیش از ۵۰/۳۹ درصد از کل زمین‌های قابل کشت به زراعت گندم اختصاص داده می‌شود (Statistics Reports of Agriculture, 2017). تاکنون تحقیقات زیادی در زمینه الگوی مصرف انرژی و کارآیی مصرف انرژی به‌صورت منطقه‌ای و مطالعات موردی انجام شده است. انرژی لازم برای تولید گندم آبی و دیم را در منطقه ساوه به‌ترتیب ۱۰/۵ و ۱۰/۶ مگاژول بر کیلوگرم برآورد و بیشترین منبع مصرفی انرژی سوخت تشخیص داده شد که برای اراضی آبی ۶۷٪ و برای اراضی دیم ۵۲٪ محاسبه گردید. بیشترین سهم سوخت مصرفی در سامانه کشت گندم آبی به عملیات آبیاری (۷۸/۴ درصد) و بیشترین سهم مصرف سوخت در کشت گندم دیم به عملیات خاک‌ورزی (۵۹ درصد) اختصاص یافت. دامنه نسبت انرژی در گندم آبی ۱/۱۷– ۰/۶۸ و در گندم دیم ۰/۹۹ به‌دست آمد. بیش‌ترین انرژی مصرفی در گندم آبی مربوط به آبیاری ($20/9 GJ.ha^{-1}$) و در گندم دیم مربوط به کود شیمیایی ($5/7 GJ.ha^{-1}$) گزارش شد (Safa and Tabatabaeefar, 2002).

در بررسی انرژی گندم دیم در سه منطقه شهرستان اقلید استان فارس نسبت انرژی در مناطق خسروشیرین، سده و دژکرد به‌ترتیب ۱/۰۶۸، ۱/۱۹ و ۰/۹۱ گزارش شد که کود و سوخت بیشترین سهم انرژی مصرفی در هر سه منطقه را دارا بودند (Mollaei *et al.*, 2008).

به‌منظور بررسی و مقایسه شاخص‌های انرژی در تولید گندم آبی تحت تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی و کاشت، تحقیقی در شهرستان اقلید انجام شد. تیمار کم‌خاک‌ورزی و کاشت با کمبینات بیشترین مقدار نسبت انرژی با مقدار ۱/۴۶ و تیمار خاک‌ورزی مرسوم کمترین میزان نسبت انرژی را با مقدار ۱/۴۰ داشتند. بیشترین انرژی خالص با مقدار ۴۷۶۵۳ مگاژول بر هکتار مربوط به تیمار کم‌خاک‌ورزی و کاشت با کمبینات و کمترین انرژی خالص با مقدار ۴۱۳۸۸ مگاژول بر هکتار مربوط به تیمار خاک‌ورزی مرسوم و کاشت با خطی‌کار همدانی عنوان شد. تیمار کم‌خاک‌ورزی و کاشت با کمبینات دارای بیشترین بهره‌وری انرژی با مقدار ۰/۱۱۵کیلوگرم بر مگاژول و تیمارهای خاک‌ورزی مرسوم دارای کمترین بهره‌وری انرژی با مقدار ۰/۱۱۰ کیلوگرم بر مگاژول گزارش شد (Hosseini *et al.*, 2014). بنابراین، استفاده از روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی در تولید گندم آبی می‌تواند با کاهش انرژی مصرفی باعث افزایش بهره‌وری انرژی گردد. در تحلیل اقتصادی و انرژی مصرفی گندم دیم و آبی در خراسان شمالی نسبت انرژی برای گندم دیم ۳/۳۸ و برای گندم آبی ۱/۴۴ بیان شد (Ghorbani *et al.*, 2011).

سینگ و همکاران (Singh *et al.*, 2004) در تحقیقی نشان دادند که استفاده از ارقام پرمحصول، سیستم‌های کشت فشرده، افزایش مصرف کودها و سموم شیمیایی و سطح بالای مکانیزاسیون کشاورزی، افزایش مصرف انرژی در کشاورزی مدرن را سبب شده است.

ازکان و همکاران (Ozkan *et al.*, 2004) نیز اعلام کردند که میزان انرژی ورودی در کشت ۳۶ محصول عمده ترکیه از سال ۱۹۷۵ تا ۲۰۰۰ میلادی، به‌ازای هر هکتار از ۱۷/۴ به ۴۷/۴ گیگاژول بر هکتار افزایش یافته است. در حالی که میزان خروجی انرژی طی همین مدت با رشدی کمتر، از ۳۸/۸ به ۵۵/۸ گیگاژول بر هکتار رسیده است. به این ترتیب، طی ۲۵ سال کارآیی انرژی در ترکیه از ۲/۲۳ به ۱/۱۸ کاهش یافته است.

در بررسی انرژی مصرفی و تحلیل اقتصادی در تولید گندم آبی شهرستان اردبیل نتایج مطالعه نشان داد که مقدار کل انرژی ورودی $47/08 GJ.ha^{-1}$ بوده که حدود ۳۱/۱۹٪ از آن مربوط به کودهای شیمیایی و ۲۶/۰۵٪ مربوط به انرژی سوخت دیزل می‌باشد. هم‌چنین ۷۳/۲۷٪ را انرژی‌های غیرمستقیم و ۲۶/۷۳٪ را انرژی‌های مستقیم شامل شده است. نسبت انرژی خروجی به ورودی برابر ۱/۹۷ و بهره‌وری انرژی برابر $0/096 kg.MJ^{-1}$ برآورد گردید. مقدار هزینه تولید در هر هکتار برابر $809/44 \$.ha^{-1}$ و نسبت سود به هزینه برابر ۱/۴۳ گزارش شد (Shahan *et al.*, 2008).

گندم محصولی استراتژیک بوده که با سطح کشت ۵/۹۲۸ میلیون هکتار، ۵۰/۳۹ درصد سطح کشت محصولات زراعی را به‌خود اختصاص داده و با تولید ۱۴/۵۹۲ میلیون تن، ۱۷/۵۸درصد تولید محصولات زراعی کشور را شامل می‌شود (Statistics Reports of Agriculture, 2017).

تحلیل انرژی مصرفی تولید گندم در دوازده روستای منطقه اسکیل استان آسکاری ترکیه، انرژی ورودی و انرژی خروجی به‌ترتیب ۲۵۸۷۶/۲۹ و ۷۶۹۹۰/۹۶ مگاژول بر هکتار تعیین گردید. در این مطالعه کارآیی انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی ویژه و افزوده خالص انرژی به‌ترتیب ۲/۹۷، ۰/۲ کیلوگرم بر مگاژول، ۴/۹۴ مگاژول بر کیلوگرم و ۵۱۱۱۴/۶۷ مگاژول بر هکتار گزارش شد و بیشترین سهم انرژی مصرفی برای نهاده کود شیمیایی با ۴۸/۸۴ درصد به‌دست آمد (Gokdogan and Sevim, 2016).

به‌منظور مقایسه انرژی مصرفی و بهره‌وری انرژی گندم و جو در یازده شهرستان استان سیستان و بلوچستان، صد مزرعه گندم و صد مزرعه جو مورد مطالعه قرار گرفت. انرژی ورودی برای گندم و جو به‌ترتیب ۳۲۴۹۲/۹۷ و ۲۵۶۵۵/۸۱ مگاژول بر هکتار و انرژی خروجی به‌ترتیب ۴۸۵۱۷/۲۴ و ۴۹۸۰۰/۸۷ مگاژول بر هکتار محاسبه شد. کارآیی انرژی گندم و جو به‌ترتیب ۱/۴۹ و ۱/۹۴ و بهره‌وری انرژی گندم و جو به‌ترتیب ۰/۰۵۶ و ۰/۰۶۶ کیلوگرم بر مگاژول تعیین شد. سهم انرژی تجدیدپذیر برای گندم و جو ۱۹/۶ و ۱۴/۶ درصد به‌دست آمد (Ziaei *et al.*, 2015).

هدف از این مطالعه، بررسی مقدار انرژی نهاده‌های مصرفی و ستانده انرژی در تولید گندم آبی استان‌های مورد مطالعه، تعیین سهم انواع انرژی مستقیم و غیرمستقیم و انرژی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر و محاسبهٔ شاخص‌های انرژی و تحلیل اقتصاد انرژی به منظور ارائه راهکارهای کاهش مصرف نهاده‌ها و افزایش کارایی و بهره‌وری انرژی است.

مواد و روش‌ها

مشخصات مناطق و نوع مدیریت زراعی

مطالعه حاضر به‌صورت میدانی در مزارع تولید گندم آبی استان‌های البرز، اصفهان، اردبیل، خراسان‌رضوی، خوزستان، گلستان و همدان در سال ۱۳۹۷ انجام گرفت. موقعیت جغرافیایی هفت استان مورد مطالعه این تحقیق به‌صورت رنگی در شکل ۱ مشخص شده است. انتخاب استان‌های مورد مطالعه برحسب پراکنش اقلیم‌های کشت گندم آبی در کشور و سطح کشت گندم در هر اقلیم انجام شده است.

وضعیت کشت محصولات زراعی و سطح کشت و میزان تولید گندم آبی و دیم استان‌های مورد بررسی این تحقیق، در جدول۱ آمده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی استان‌های مورد مطالعه

Fig.1. Geographic location of the studied provinces

کاشت تا برداشت در مزارع از نیمه دوم مهرماه آغاز و تا اواخر تیرماه ادامه دارد. گاوآهن‌های مورد استفاده در اغلب مزارع گندم آبی از نوع برگردان‌دار بوده و به‌منظور خردکردن کلوخه‌ها و هموار کردن زمین جهت آماده‌سازی بستر بذر، بسته به نوع خاک زراعی و تمایل زارعین، تعداد به‌کارگیری دیسک‌ها بین یک تا دو نوبت متغیر است. خاک‌ورزی اکثر مزارع شامل شخم با گاوآهن و سپس دیسک زدن می‌باشد. سطحی اندکی از مزارع (هکتار) هر ساله توسط روش‌های کم‌خاکورزی تهیه می‌گردد. بر اساس تنوع روش‌های تولیدی، امکانات موجود در سطح منطقه و نحوه مدیریت زارعین در امر تولید، از ماشین‌ها و ادوات متنوع جهت انجام عملیات زراعی در این مزارع استفاده می‌شود. تراکتورهای مسی فرگوسن ۲۸۵، مسی فرگوسن ۳۹۹، جاندیر۳۱۴۰، نیوهلند و یونیورسال۶۵۰ از رایج‌ترین تراکتورها در استان‌ها می‌باشد. ارقام مورد استفاده در مناطق مختلف پیشتاز و پیشگام بود. کاشت با ماشین خطی‌کار غلات انجام شد و به‌طور متوسط با توجه به میزان آب قابل دسترس جهت آبیاری، بین چهار تا پنج نوبت آبیاری توسط موتورهای پمپ گازوئیلی و برقی از منبع چاه

صورت می‌گیرد. عملیات برداشت نیز در تمام مزارع توسط مدل‌های مختلف کمباین‌های جاندیر، نیوهلند و کلاس انجام شد. پس از برداشت، محصول گندم هر مزارع به‌وسیله ماشین‌های مختلف نظیر کامیون، وانت بار و بارکش تراکتوری به سیلوها منتقل می‌گردد.

جدول ۱- وضعیت کشت محصولات زراعی و گندم در استان‌های مورد مطالعه (آمارنامه کشاورزی، ۱۳۹۷)

Table 1- Crop and wheat cultivation in studied provinces (Statistics Reports of Agriculture, 2018)

استان Province	سطح محصولات زراعی Crop area (10^3 ha)	نسبت سطح کشت زراعی به کل کشور Contribution to total crop area (%)	میزان تولید محصولات زراعی Crop production (10^6 tons)	سطح گندم آبی Irrigated wheat area (ha)	سطح گندم دیم Rainfed Wheat area (ha)	تولید گندم آبی Irrigated wheat production (tons)	تولید گندم دیم Rainfed wheat production (tons)	کل سطح گندم Total wheat area (ha)	نسبت سطح کشت گندم به کل کشور Contribution to total wheat area (%)	کل تولید گندم Total wheat production (tons)
البرز Alborz	36.895	0.34	0.933	10021	-	57079	-	10021	0.18	57079
اصفهان Isfahan	240.738	2.19	3.538	55350	18443	235253	15431	73793	1.36	250684
اردبیل Ardabil	547.108	4.98	2.788	68500	228000	343238	271235	296500	5.45	614473
خراسان رضوی Khorasan Razavi	553.073	5.03	5.362	174147	45976	596645	18808	220123	4.05	615453
خوزستان Khuzestan	889.625	8.09	15.225	380000	69850	1771008	110924	449850	8.27	1881932
گلستان Golestan	641.327	5.83	3.063	148492	219528	748944	561061	368020	6.77	1310004
همدان Hamedan	621.610	5.65	3.305	73050	325580	325329	271944	398630	7.33	597273
کل کشور Total	10995.257	32.11	82.199	2045468	3392336	8883291	3516709	5437804	33.41	12400000

نحوه جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل داده‌ها

جمع‌آوری داده‌ها مورد نیاز تحقیق به‌صورت تکمیل پرسشنامه و مصاحبه چهره به چهره ازکشاورزان تولیدکننده گندم آبی انجام شد. سایر اطلاعات مورد نیاز از طریق مطالعات اسنادی و کتابخانه‌ای و مراجعه به کارشناسان در سازمان‌های جهاد کشاورزی استان‌ها به‌دست آمد.

در این تحقیق از روش نمونه‌گیری تصادفی ساده استفاده شد. نمونه‌گیری تصادفی در واقع آسان‌ترین روش نمونه‌گیری است (Ghahdarijani *et al.*, 2009). جامعهٔ آماری این تحقیق تمام زارعین گندم آبی در استان‌های البرز، اصفهان، اردبیل، خراسان‌رضوی، خوزستان، گلستان و همدان بود. برای به‌دست آوردن حجم نمونه و تعداد پرسش‌نامه‌هایی که باید در هر استان تکمیل شود، از فرمول کوکران به شرح رابطه (۱) استفاده شد (Ghasemi Mobtaker *et al.*, 2010; Cochran, 1997):

$$n = \frac{N(s \times t)^2}{(N-1)d^2 + (s \times t)^2} \qquad (۱)$$

که در آن: n، حجم نمونه؛ N، حجم جامعه؛ S، انحراف معیار جامعه؛ t، مقدار ۱/۹۶ و d، دقت احتمالی مطلوب است.

پس از تجزیه و تحلیل داده‌های نمونه‌گیری مقدماتی و به‌دست آوردن تقریبی پارامترهای صفت مورد مطالعه در جامعه مورد نظر و قرار دادن آن‌ها در فرمول کوکران حجم نمونه لازم برای استان‌های مختلف به شرح جدول ۲ تعیین گردید. در مجموع ۲۸۶ پرسش‌نامه تکمیل شد. انرژی‌های ورودی به‌منظور تولید گندم در منطقه مورد مطالعه شامل انرژی نیروی کارگری، ماشین‌ها و ادوات، سوخت، آب آبیاری، الکتریسیته مورد نیاز جهت پمپاژ آب، کودهای شیمیایی (نیتروژن، فسفات، پتاسیم و ریزمغذی‌ها)، سموم شیمیایی (علف‌کش، حشره‌کش، قارچ‌کش) و بذر می‌باشد. انرژی خروجی شامل انرژی دانه گندم و کاه حاصل از آن می‌باشد.

جدول ۲– تعداد نمونه برای استان‌های مورد مطالعه

Table 2- Number of samples for the studied provinces

استان **Province**	تعداد نمونه **Number of samples**
اصفهان Esfahan	24
البرز Alborz	20
اردبیل Ardabil	100
خراسان رضوی Khorasan Razavi	24
خوزستان Khuzestan	57
گلستان Golestan	35
همدان Hamedan	26

برای محاسبه انرژی‌های ورودی و خروجی در واحدهای تولید، مقدار هرکدام از نهاده‌های مصرفی یا محصول تولیدی در هم‌ارز انرژی آن ضرب گردید. مقادیر هم‌ارز انرژی نهاده‌های مصرفی و محصولات تولید شده در جدول ۳ آورده شده‌اند.

معمولاً انرژی مصرفی در کشاورزی به چهار گروه انرژی‌های مستقیم، غیرمستقیم، تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر تقسیم‌بندی می‌شوند (Kazemi *et al.*, 2015). انرژی‌های مستقیم شامل انرژی نیروی‌انسانی، سوخت، آب و الکتریسیته، انرژی‌های غیرمستقیم شامل انرژی کودهای شیمیایی و دامی، سموم شیمیایی، بذر و ماشین‌های کشاورزی، انرژی‌های تجدیدپذیر شامل انرژی نیروی انسانی، کود حیوانی، بذر و آب است و در نهایت انرژی‌های تجدیدناپذیر شامل انرژی سوخت، ماشین‌های کشاورزی، کودها و سموم شیمیایی و الکتریسیته هستند.

محاسبه شاخص‌های انرژی

به‌منظورتعیین روابط بین انرژی ستانده‌ها و نهاده‌ها، شاخص‌هایی تعریف و به‌کار برده می‌شوند که با استفاده از آن‌ها می‌توان وضعیت انرژی محصولات مختلف را در سامانه‌های زراعی مختلف مقایسه کرد. این شاخص‌ها در روابط (۲) تا (۵) آمده است (Ghasemi Mobtaker *et al.*, 2010; Mandal *et al.*, 2002).

(۲) کارایی انرژی= (MJ ha^{-1}) ستانده انرژی/(MJ ha^{-1}) کل انرژی ورودی

(۳) بهره‌وری انرژی (kg MJ^{-1})= عملکرد (kg ha^{-1})/ کل انرژی ورودی (MJ ha^{-1})

(۴) افزوده خالص انرژی (MJ ha^{-1})= کل انرژی ستانده‌ها (MJ ha^{-1}) – کل انرژی ورودی (MJ ha^{-1})

(۵) انرژی ویژه (MJ kg^{-1})= کل انرژی ورودی (MJ ha^{-1}) / عملکرد محصول (kg ha^{-1})

جدول ۳- هم‌ارز انرژی نهاده‌های مصرفی و ستانده‌ها
Table 3- Equivalent energy for inputs and outputs

انرژی نهاده یا ستانده Input or output energy	هم‌ارز انرژی Equivalent energy	واحد انرژی Energy unit (MJ unit^{-1})	مرجع Reference
Input Energy انرژی نهاده (ورودی)			
نیروی انسانی Labour	1.96	ساعت Hour	Ozkan *et al.*, 2004; Yilmaz *et al.*, 2005; Singh *et al.*, 2002 *
سوخت دیزل Disel	56.31	لیتر Liter	Erdal *et al.*, 2007; Singh *et al.*, 2002; Singh, 2002⁕
Machinery ماشین‌ها			
تراکتور Tractors	138	کیلوگرم kg	Kitani, 1999**
گاوآهن Plow	180	کیلوگرم kg	Kitani, 1999**
سمپاش spray	129	کیلوگرم kg	Kitani, 1999**
کودپاش Fertiliser	129	کیلوگرم kg	Kitani, 1999**
تریلر Trailer	138	کیلوگرم kg	Kitani, 1999**
کمباین Combine	148	کیلوگرم kg	Kitani, 1999**
دیسک Harrow Disc	62.7	کیلوگرم kg	Singh *et al.*, 2002
ماله Land Leveler	62.7	کیلوگرم kg	Singh *et al.*, 2002
زیرشکن Subsoiler	62.7	کیلوگرم kg	Singh *et al.*, 2002
موتور الکتریکی Eletrical motor	64.80	کیلوگرم kg	Singh *et al.*, 2002
Fertiliser کودهای شیمیایی			
نیتروژن(N) Nitrogen	66.14	کیلوگرم kg	Esengun *et al.*, 2007; Yilmaz *et al.*, 2005*
فسفره (P_2O_5) Phosphorus	12.4	کیلوگرم kg	Esengun *et al.*, 2007; Yilmaz *et al.*, 2005*
پتاسه (K_2O) Potassium	11.15	کیلوگرم kg	Esengun *et al.*, 2007; Yilmaz *et al.*, 2005*
سموم شیمیایی Pesticides	120	کیلوگرم kg	Canakci *et al.*, 2005; Mandal *et al.*, 2002; Singh *et al.*, 2002*
بذر گندم Seed	25	کیلوگرم kg	Burhan, *et al.*, 2004
برق Electricity	11.93	کیلو وات ساعت kWh	Burhan, *et al.*, 2004
حمل و نقل Transport	3.05	تن کیلومتر Ton Kilometer	Kitani, 1999*
انرژی ستاده (خروجی) **Output Energy**	-	-	
دانه گندم آبی Wheat seeds	14.7	کیلوگرم kg	Burhan, *et al.*, 2004
کاه و کلش گندم آبی Wheat straw	12.5	کیلوگرم kg	Burhan, *et al.*, 2004

⁕ به نقل از واحدی (۱۳۹۵)
⁕ (Vahedi, 2017)

محاسبه شاخص‌های اقتصادی و اقتصاد انرژی

برای تحلیل اقتصادی از شاخص‌های سود خالص، بهره‌وری اقتصادی تولید و نسبت فایده به هزینه مطابق روابط (۶) تا (۸) استفاده شد.

به‌منظور تحلیل اقتصاد انرژی و تعیین روابط بین انرژی هزینه شده با تولید، شاخص‌های شدت انرژی، ارزش شدت انرژی، هزینه شدت انرژی و هزینه نسبی انرژی مطابق روابط (۹) تا (۱۲) تعیین گردید (Mohammadshirazi *et al.*, 2012; Mohammadi *et al.*, 2010).

(۶) هزینه کل تولید ($Rial\ ha^{-1}$) - ارزش تولید ناخالص ($Rial\ ha^{-1}$) = سود خالص ($Rial\ ha^{-1}$)

(۷) هزینه کل تولید ($Rial\ ha^{-1}$) / ارزش تولید ناخالص ($Rial\ ha^{-1}$) = نسبت فایده به هزینه

(۸) هزینه کل تولید ($Rial\ ha^{-1}$) / عملکرد محصول ($kg\ ha^{-1}$) = بهره‌وری اقتصادی ($kg\ Rial^{-1}$)

(۹) هزینه تولید محصول ($Rial\ ha^{-1}$) / کل انرژی ورودی ($MJ\ ha^{-1}$) = شدت انرژی ($MJ\ Rial^{-1}$)

(۱۰) ارزش تولید ناخالص ($Rial\ ha^{-1}$) / کل انرژی ورودی ($MJ\ ha^{-1}$) = ارزش شدت انرژی ($MJ\ Rial^{-1}$)

(۱۱) عملکرد محصول ($kg\ ha^{-1}$) / هزینه انرژی ورودی ($Rial\ ha^{-1}$) =هزینه شدت انرژی ($Rial\ kg^{-1}$)

(۱۲) هزینه تولید محصول ($Rial\ ha^{-1}$) / هزینه انرژی ورودی ($Rial\ ha^{-1}$) =هزینه نسبی انرژی

هزینه انرژی ورودی از تبدیل کل انرژی ورودی به انرژی معادل بشکه نفت[1] و محاسبه ارزش ریالی آن به‌دست می‌آید (Mohammadshirazi *et al.*, 2012). هر بشکه نفت استاندارد حدود ۱۵۹ لیتر بوده که انرژی آزاد شده از سوختن کامل آن ۵/۸ مگابی تی یو[2] یا معادل ۶/۱۱۷ گیگاژول می‌باشد.

تمام داده‌های جمع‌آوری شده در نرم‌افزار Excel وارد شده و محاسبات آماری به کمک نرم‌افزار SPSS انجام گرفت.

نتایج و بحث

مقدار نهاده‌های مصرفی و محتوای انرژی آن‌ها و سهم انرژی هر نهاده از کل انرژی ورودی در تولید گندم آبی استان‌های مورد بررسی در این پژوهش در جدول ۴ نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود بیشترین سهم انرژی نهاده‌های مصرفی برای استان‌های البرز، اردبیل، خوزستان، گلستان و همدان مربوط به انرژی کودهای شیمیایی به‌ترتیب با ۵۴/۲۷، ۴۳/۱۴، ۶۹/۳۱، ۳۸/۰۵ و ۴۷/۵۷ درصد از کل انرژی ورودی نهاده‌ها بود. برای استان‌های اصفهان و خراسان رضوی بیشترین سهم انرژی نهاده‌های ورودی به‌ترتیب با ۶۲/۳۶ و ۵۷/۱۸ درصد مربوط به انرژی آبیاری بود و کمترین سهم انرژی نهاده‌های مصرفی برای استان‌های البرز، اصفهان، اردبیل، خراسان‌رضوی و گلستان مربوط به انرژی نیروی انسانی به‌ترتیب با ۰/۴۹، ۰/۲۰، ۰/۸، ۰/۱۸ و ۰/۲۶درصد بود و در استان‌های خوزستان و همدان انرژی مصرفی سموم شیمیایی به‌ترتیب با ۰/۶۶ و ۰/۸۹درصد کمترین سهم انرژی نهاده‌های ورودی را داشت (جدول ۴). در بین کودهای شیمیایی مصرفی، سهم انرژی مصرفی کودهای نیتروژنه بسیار بیشتر از سایر انواع کودهای شیمیایی بود که دلیل آن مقدار مصرف زیادتر این کود نسبت به سایر کودهای شیمیایی در واحد سطح و همچنین هم‌ارز انرژی بالای آن در قیاس با سایر کودهای شیمیایی بود. علت سهم زیاد انرژی مصرفی آبیاری در استان‌های اصفهان و خراسان رضوی خشکسالی‌های سال‌های اخیر بود که به‌دلیل پایین رفتن سطح آب‌های زیرزمینی و افزایش ارتفاع استحصال آب از چاه‌ها نهایتاً افزایش انرژی مصرفی آب شده است. لذا تغییر الگوی کشت، استفاده از ارقام گندم متحمل به خشکی و کم آب‌بر، استفاده از روش‌های نوین آبیاری و مدیریت صحیح آبیاری مزارع گندم توصیه می‌شود. در تحقیقی که عبدی و همکاران (Abdi *et al.*, 2013) بر روی انرژی مصرفی تولید گندم در کرمانشاه انجام دادند نیز کودهای شیمیایی با ۳۱/۵۵٪ بیشترین مصرف انرژی را در بین نهاده‌ها داشتند. سوخت (۳۰/۰۴٪) و آب آبیاری (۱۶/۷۱٪) در جایگاه‌های بعدی مصرف انرژی نهاده در تولید گندم قرار داشتند. در تحقیقی دیگر در همدان، (Ghasemi Mobtaker *et al.*, 2010) گزارش کردند که کودهای شیمیایی بیشترین سهم مصرف انرژی در بین نهاده‌های ورودی محصول جو را به خود اختصاص داده‌اند. کاظمی و زارع (Kazemi and Zare, 2014) بیشترین سهم انرژی مصرفی تولید گندم را در شهرستان گرگان سوخت مصرفی با سهم ۲۶/۲ درصد و در مرحله بعد کودهای شیمیایی با سهم ۲۴/۵ درصد اعلام کردند و برای شهرستان مرودشت بیشترین سهم انرژی مصرفی تولید گندم را کودهای شیمیایی با سهم ۲۸/۳۲ درصد و سپس سوخت با سهم ۲۶/۹۱ درصد بیان داشتند.

1-Barrel of Oil Equivalent (BOE)
2-British Thermal Unit (BTU)

جدول ٤- مقدار و محتوای انرژی نهاده‌های مصرفی تولید گندم آبی در استان‌های مورد مطالعه

Table 4-Amounts and energy equivalent of inputs in irrigated wheat production

نهاده Input	واحد Unit	استان البرز Alborz			استان اصفهان Esfahan			استان اردبیل Ardabil			استان خراسان رضوی Khorasan Razavi			استان خوزستان Khuzestan			استان گلستان Golestan			استان همدان Hamedan		
		مقدار Amount (Unit ha^{-1})	محتوای انرژی Energy equivalent (MJ ha^{-1})	سهم Portion (%)	مقدار Amount (Unit ha^{-1})	محتوای انرژی Energy equivalent (MJ ha^{-1})	سهم Portion (%)	مقدار Amount (Unit ha^{-1})	محتوای انرژی Energy equivalent (MJ ha^{-1})	سهم Portion (%)	مقدار Amount (Unit ha^{-1})	محتوای انرژی Energy equivalent (MJ ha^{-1})	سهم Portion (%)	مقدار Amount (Unit ha^{-1})	محتوای انرژی Energy equivalent (MJ ha^{-1})	سهم Portion (%)	مقدار Amount (Unit ha^{-1})	محتوای انرژی Energy equivalent (MJ ha^{-1})	سهم Portion (%)	مقدار Amount (Unit ha^{-1})	محتوای انرژی Energy equivalent (MJ ha^{-1})	سهم Portion (%)
Labour نیروی انسانی	hr	89.33	175.09	0.49	92.96	182.20	0.20	158.13	309.93	0.80	93.74	183.73	0.18	171.43	336	0.79	34.75	68.11	0.26	235.76	462.09	0.94
Machinery ماشین	hr	35.17	2205.16	6.11	30.28	1898.56	2.05	28.28	1773.16	4.58	58.97	3697.42	3.53	31.61	1981.95	4.64	17.13	1074.01	4.10	28.47	1785.07	3.62
Feul سوخت	L	185.15	1042.66	2.89	157.57	8872.9	9.57	131.07	7380.55	19.04	188.29	10602.61	10.13	162.7	916.64	2.15	104.45	5881.47	22.45	111.92	6302.22	12.77
Fertiliser کود شیمیایی	kg																					
Nitrogen نیتروژن		240.19	15886.32	44.04	275.50	18221.57	19.65	236.6	15648.72	40.38	352	23281.28	22.24	397.1	26264.19	61.47	129.12	8539.99	32.60	297	19643.58	39.79
Phosphorus فسفات		197.5	2456.88	6.81	112.55	1400.12	1.51	76.04	945.94	2.44	151.6	1885.9	1.8	158.87	1976.34	4.63	70	870.8	3.32	263	3271.72	6.63
Potassium پتاس		110.58	1233	3.42	59.45	662.87	0.71	11.27	125.66	0.32	103.75	1156.81	1.10	133.5	1488.53	3.48	50.01	557.61	2.13	50.93	567.87	1.15
Electricity الکتریسیته	kWh	410.4	13.57	10.77	4322.73	51570.17	55.62	275	3280.75	8.47	4420.39	52735.25	50.37	173.87	2074.26	4.85	-	-	-	674.05	8041.42	16.29
Pesticides سموم	kg																					
Herbicide علف‌کش		1.21	287.98	0.80	1.6	380.8	0.41	1.05	249.90	0.64	1.3	309.4	0.3	1.01	240.38	0.56	0.35	83.3	0.32	1.37	326.06	0.66
Fungicide قارچ‌کش		0.7	151.20	0.42	0.56	120.96	0.13	0.27	58.32	0.15	1	216	0.21	0.1	21.6	0.05	0.15	32.4	0.12	0.06	12.96	0.03
Insecticide آفت‌کش		0.86	87.3	0.24	0.44	44.53	0.05	0.35	35.42	0.09	1.36	137.63	0.13	0.2	20.24	0.05	0.10	10.12	0.04	0.98	99.18	0.2
Water آب آبیاری	m^3	4687.7	4781.45	13.25	6125.62	6248.13	6.74	4904.88	5002.98	12.91	6986	7125.72	6.81	4021.1	4101.52	9.60	4297	4382.94	16.73	4799.7	4895.69	9.92
Seed بذر	kg	195.44	2873	7.96	211.7	3111.99	3.36	268.3	3944.01	10.18	229.2	3369.24	3.22	224.8	3304.56	7.73	319.55	4697.32	17.93	269.03	3954.74	8.01

در بررسی محمدی و همکاران (Mohammadi *et al.*, 2017) به‌منظور تعیین الگوی مصرف انرژی تولید گندم آبی در ایران، متوسط انرژی مصرفی ۳۴۸۰۰ مگاژول بر هکتار به‌دست آمد. در بین نهاده‌های ورودی کود نیتروژن با ۳۰ درصد دارای بیشترین سهم از کل انرژی ورودی و پس از آن سوخت با ۲۲ درصد و الکتریسیته با ۱۵ درصد گزارش شد.

در تحقیقی به‌منظور ارزیابی مصرف انرژی در تولید گندم در گرگان، کود شیمیایی با ۴۵/۸ درصد بیشترین سهم را در انرژی ورودی نهاده‌های مصرفی داشت (Rajaby *et al.*, 2012). دلیل تفاوت سهم انرژی کود شیمیایی از کل انرژی ورودی در مطالعات انجام شده مربوط به مقدار کربن آلی و بافت خاک متفاوت در مناطق مختلف، نوع مدیریت بقایای گیاهی در مزارع و روش خاک‌ورزی می‌باشد.

نتایج تحقیق نشان داد که بیشترین عملکرد دانه گندم آبی در استان خراسان رضوی به‌میزان ۶۱۹۰/۱۷ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد دانه گندم آبی در استان گلستان به‌میزان ۴۰۶۸/۴۲ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۵). میانگین انرژی ورودی برای هفت استان مورد بررسی در این تحقیق ۵۸۳۰۸/۸۳ مگاژول بر هکتار و میانگین انرژی خروجی ۱۳۶۰۹۲/۱۵ مگاژول بر هکتار به‌دست آمد. بیشترین مقدار انرژی ورودی برای استان خراسان رضوی با مقدار ۱۰۴۷۰۱ مگاژول بر هکتار و کمترین مقدار انرژی ورودی برای استان گلستان با مقدار ۲۶۱۹۸/۰۷ مگاژول بر هکتار محاسبه شد. بیشترین مقدار انرژی خروجی برای استان البرز با مقدار ۱۶۲۱۶۹۱/۲۸ مگاژول بر هکتار و کمترین مقدار انرژی خروجی برای استان اردبیل با مقدار ۱۲۲۲۹۷/۵۳ مگاژول بر هکتار تعیین شد (جدول ۵). با وجود این‌که استان خراسان‌رضوی بیشترین عملکرد تولید دانه گندم را داشت ولی بیشترین انرژی ستانده برای استان البرز به‌دست آمد که علت آن عملکرد بالای تولید کاه گندم در استان البرز می‌باشد. به‌طور کلی استان خراسان‌رضوی علی‌رغم عملکرد بالا در تولید دانه گندم ولی به لحاظ شاخص‌های انرژی وضعیت مناسبی ندارد که علت آن عملکرد پایین در تولید کاه گندم و انرژی بالای نهاده‌های مصرفی در تولید گندم می‌باشد. نسبت انرژی ستانده دانه گندم به انرژی ستانده دانه و کاه گندم در استان‌های البرز، اصفهان، اردبیل، خراسان‌رضوی، خوزستان، گلستان و همدان به‌ترتیب ۰/۴۸، ۰/۴۹، ۰/۴۹، ۰/۷۴، ۰/۴۶، ۰/۴۴ و ۰/۷۱ به‌دست آمد.

افزوده خالص انرژی برای همه استان‌ها این تحقیق مثبت به‌دست آمد، بنابراین چنین تفسیر می‌شود که تولید گندم آبی در این استان‌ها از نقطه نظر بیلان انرژی توجیه دارد. بیشترین مقدار افزوده خالص انرژی برای استان البرز با مقدار ۱۱۶۷۱۰/۴۴ مگاژول بر هکتار و کمترین مقدار افزوده خالص انرژی برای استان خراسان رضوی با مقدار ۱۷۵۹۶/۵۳ مگاژول بر هکتار تعیین شد. میانگین افزوده خالص انرژی در استان‌های بررسی شده این پژوهش مقدار ۷۷۷۸۳/۳۱ مگاژول بر هکتار محاسبه شد (جدول ۵).

جدول ۵- مطالعه و ارزیابی مصرف انرژی، تولید گندم آبی در کشور

Table 5- Study and assessment of energy consumption, production of wheat in the country

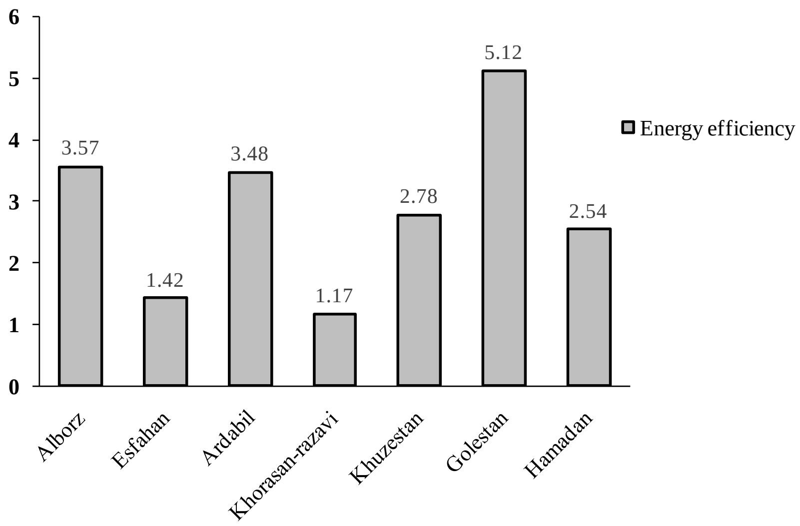
	عملکرد دانه Grain yield (kg ha^{-1})	عملکرد کاه Straw yield (kg ha^{-1})	انرژی ورودی Input energy (MJ ha^{-1})	انرژی خروجی Output energy (MJ ha^{-1})	افزوده خالص انرژی خالص Net energy gain (MJ ha^{-1})	انرژی ویژه Specific energy (MJ kg^{-1})
البرز Alborz	5341	6692.52	45458.84	162169.28	116710.44	3.78
اصفهان Esfahan	4442.3	5331.66	92714.8	131958.8	29244	9.49
اردبیل Ardabil	4490	5495.7	37755.34	134700.1	95944.76	3.77
خراسان رضوی Khorasan	6190.17	2504.16	104701	122297.53	17596.53	12.04
خوزستان Khuzestan	4512	6046.38	50971.2	141901.8	90930.6	4.83
گلستان Golestan	4068.42	5944	26198.07	134105.9	107907.8	2.62
همدان Hamedan	6116.02	2848.27	49362.64	125511.69	76149.05	5.51
میانگین Mean	5022.97	4887.37	58308.83	136092.15	77783.31	6.02

کارآیی انرژی برای تمام استان‌های مورد مطالعه بیشتر از یک محاسبه شد به‌عبارتی در این استان‌های انرژی کل ستانده بیش از انرژی کل نهاده‌های ورودی بود لذا می‌توان بیان کرد تولید گندم آبی در تمامی استان‌های مورد مطالعه توجیه‌پذیر است (شکل ۲). میانگین کارآیی انرژی در این استان‌ها ۲/۸۷ به‌دست آمد. بیشترین کارآیی انرژی تولید گندم آبی برای استان گلستان با مقدار ۵/۱۲ و کمترین کارآیی انرژی برای استان خراسان رضوی با مقدار ۱/۱۷ تعیین شد.

هرچه مقدار کارآیی انرژی در مزارع بیشتر شود، تولید آن مزارع در راستای پایداری در کشاورزی بوده و هرچه این نسبت کوچک‌تر شود، تخریب محیط‌زیست و ناپایداری بوم‌شناختی در آینده نزدیک اتفاق خواهد افتاد. شاخص کارآیی مصرف انرژی در مناطق مختلف و بر اساس روش‌های مختلف مدیریتی متغیر است.

قربانی و همکاران (Ghorbani *et al.*, 2011) در مطالعه بررسی انرژی مصرفی گندم آبی و دیم در خراسان شمالی، کارآیی انرژی را در مزارع گندم دیم ۳/۳۸ و در مزارع گندم آبی۱/۴۴ اعلام کردند. کاظمی و زارع (Kazemi and Zare, 2014) کارآیی انرژی تولید گندم را برای شهرستان مرودشت و گرگان به‌ترتیب ۲/۵۶ و ۲/۹۱ بیان داشتند.

در تحقیق رجبی و همکاران (Rajaby *et al.*, 2012) به‌منظور ارزیابی مصرف انرژی در تولید گندم در گرگان، متوسط انرژی ورودی ۱۵۵۷۸/۶ مگاژول بر هکتار، بیشینه انرژی ورودی ۲۱۱۷۹/۳ مگاژول بر هکتار و بیشینه انرژی خروجی ۱۲۰۵۳۱/۳ مگاژول بر هکتار گزارش شد. آن‌ها متوسط نسبت انرژی را ۶/۳ و حداقل و حداکثر نسبت انرژی را به‌ترتیب ۹/۳ و ۳/۷ بیان کردند. علت ارقام متفاوت بیان شده برای کارایی و بهره‌وری انرژی گندم در مطالعات مختلف، تفاوت نوع کشت (گندم آبی و دیم)، نوع رقم، تفاوت در ریزش‌های جوی در سال‌های مختلف، تفاوت در اقلیم زراعی و نوع مدیریت مزرعه می‌باشد.



شکل ۲- کارآیی انرژی گندم آبی در استان‌های مورد مطالعه

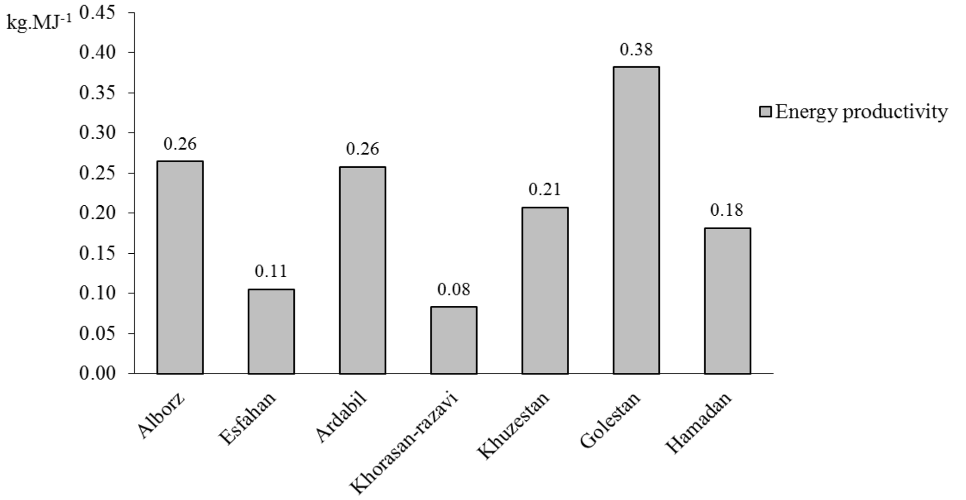
Fig.2. Wheat energy efficiency in studied provinces

بهره‌وری انرژی در تمام استان‌های مورد بررسی کمتر از یک کیلوگرم بر مگاژول و میانگین بهره‌وری انرژی ۰/۲۱۲ کیلوگرم برمگاژول به‌دست آمد (شکل ۳). بیشترین بهره‌وری انرژی تولید گندم آبی برای استان گلستان با مقدار ۰/۳۸ کیلوگرم برمگاژول و کمترین بهره‌وری انرژی برای استان خراسان‌رضوی با مقدار ۰/۰۸ کیلوگرم بر مگاژول تعیین شد. به‌منظور افزایش بهره‌وری انرژی باید عملکرد در واحد سطح را افزایش داد یا مقدار انرژی نهاده‌های ورودی را کاهش داد. شاخص بهره‌وری انرژی به‌منظور مقایسه روش‌ها و سیستم‌های تولیدی محصول به‌کار رفته و میزان بهره‌وری انرژی حاصل در این تحقیق حاکی از آن بود اگر بر شیوه مدیریت و تولید محصول نظارت کرده و تلاش‌هایی جهت بالا بردن تولید در واحد سطح شود، با مدیریت صحیح انرژی می‌توان میزان بهره‌وری را افزایش داد.

در تحقیق رجبی و همکاران (Rajaby *et al.*, 2012) بهره‌وری انرژی ۰/۳ تن بر گیگاژول گزارش شد. آن‌ها در بررسی خود میانگین شدت انرژی را ۴/۰۲ گیگاژول بر تن و بیشینه و کمینه شدت انرژی را به‌ترتیب ۶/۲ و ۲/۵ گیگاژول بر تن گزارش کردند.

در بررسی محمدی و همکاران (Mohammadi *et al.*, 2017) نسبت انرژی تولید گندم آبی ایران ۲/۰۹ گزارش شد که بیشترین و کمترین مقدار این شاخص به‌ترتیب مربوط به استان گلستان (۳/۷۲) و

سیستان و بلوچستان (۰/۸۱) بود. میانگین شدت انرژی تولید گندم آبی کشور در این تحقیق ۸/۲۳ مگاژول بر کیلوگرم به‌دست آمد.



شکل ۳- بهره‌وری انرژی گندم آبی در استان‌های مورد مطالعه
Fig.3. Wheat energy productivity in studied provinces

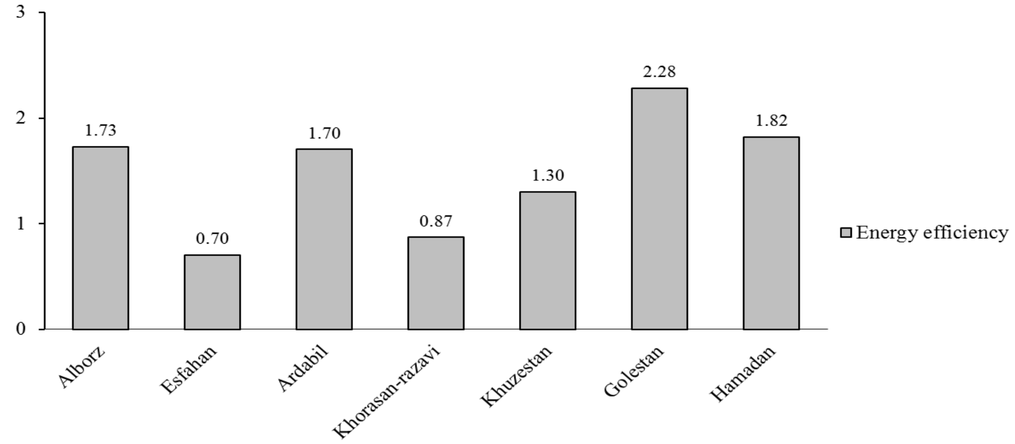
رحمان و همکاران (Rahman *et al.*, 2014) در بنگلادش میزان نسبت انرژی و بهره‌وری انرژی را برای محصول گندم به‌ترتیب ۲/۳ و ۰/۲ کیلوگرم بر مگاژول به‌دست آورده‌اند.

در تحقیقی که توسط نادرلو و همکاران (Naderloo *et al.*, 2012)، برای آنالیز انرژی گندم آبی در دشت قزوین صورت گرفته نتایج حاکی از آن است که نسبت انرژی ۱/۹۲ و بهره‌وری انرژی ۰/۱۳ کیلوگرم برمگاژول به‌دست آمده است که در این خصوص مشابهت با نتایج این پژوهش دیده می‌شود. نتایج این پژوهش‌ها حاکی از آن است که کشاورزان در تولید این محصول روش‌های تقریباً یکسانی را استفاده می‌کنند. کاظمی و زارع (Kazemi and Zare, 2014) بهره‌وری انرژی تولید گندم را برای شهرستان مرودشت و گرگان به‌ترتیب ۰/۱۲۳ و ۰/۱۲۵ کیلوگرم بر مگاژول بیان داشتند.

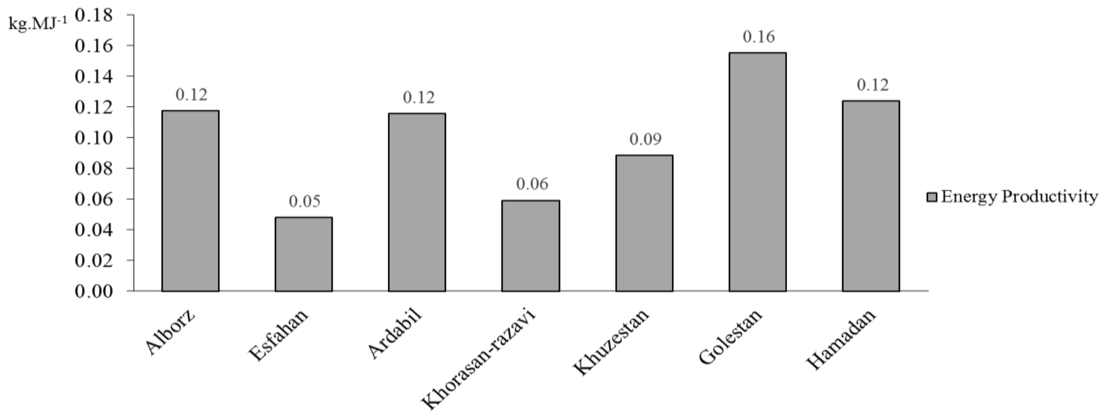
شکل ۴ کارآیی انرژی تولید گندم آبی را بر مبنای ستانده دانه گندم در استان‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. مقایسه شکل ۴ و شکل ۲ نشان می‌دهد که اگر صرفاً انرژی ستانده از دانه گندم تولیدی ملاک قرار گیرد وضعیت کارآیی انرژی در استان‌های مورد مطالعه تغییرکرده و استان همدان از رتبه پنجم کارآیی انرژی (شکل ۲) به رتبه دوم (شکل ۴) در بین استان‌های مورد مطالعه ارتقا می‌یابد که دلیل آن سهم بالای انرژی ستانده دانه گندم از کل انرژی ستانده گندم (۷۱٪) در این استان توام با انرژی نهاده‌های مصرفی کم می‌باشد. بررسی کارآیی انرژی صرفاً بر مبنای ستانده دانه گندم نشان داد که استان گلستان هم‌چنان بیشترین کارآیی انرژی را با مقدار ۲/۲۸ در بین استان‌های مورد مطالعه در این پژوهش دارد و استان اصفهان کمترین کارآیی انرژی را با مقدار ۰/۷۰ دارد.

شکل ۵ بهره‌وری انرژی تولید گندم آبی را بر مبنای ستانده دانه گندم در استان‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. با مقایسه شکل ۵ و شکل ۳ ملاحظه می‌شود اگر در محاسبه انرژی ستانده تولید، فقط انرژی ستانده دانه گندم ملاک قرارگیرد وضعیت بهره‌وری انرژی در استان‌های مورد مطالعه تغییرکرده و استان همدان از رتبه پنجم بهره‌وری انرژی (شکل ۳) به رتبه دوم (شکل ۵) در بین استان‌های مورد مطالعه ارتقا می‌یابد که دلیل آن عملکرد دانه گندم بالا در این استان توام با انرژی مصرفی کم می‌باشد. بررسی بهره‌وری انرژی صرفاً بر مبنای ستانده دانه گندم نشان داد که استان گلستان هم‌چنان بیشترین بهره‌وری انرژی را با مقدار ۰/۱۶ کیلوگرم بر مگاژول در بین استان‌های مورد مطالعه این پژوهش دارد و استان اصفهان کمترین بهره‌وری انرژی را با مقدار ۰/۰۵ کیلوگرم بر مگاژول دارد.

تجزیه واریانس انرژی ورودی، انرژی ستانده و شاخص‌های انرژی در تولید گندم آبی هفت استان مورد مطالعه در جدول ۶ آمده است. همان‌طور که در جدول ۶ نشان داده شده است تفاوت میانگین‌های انرژی ورودی، انرژی ستانده، کارایی و بهره‌وری انرژی در استان‌های مورد مطالعه در سطح یک درصد معنی‌دار می‌باشند. به‌عبارتی تفاوت این میانگین‌ها تصادفی نمی‌باشد و مدیریت متفاوت مزارع سبب این تفاوت شده است. کمینه و بیشینه و خطای استاندارد مقادیر انرژی ورودی، انرژی ستانده، کارایی و بهره‌وری انرژی ۲۸۶ مزرعه مورد بررسی در هفت استان تحت مطالعه در جدول ۶ آمده است.



شکل ٤- کارآیی انرژی گندم آبی در استان‌های مورد مطالعه بر مبنای دانه گندم
Fig.4. Energy efficiency of wheat in selected provinces based on wheat grain



شکل ٥- بهره‌وری انرژی گندم آبی در استان‌های مورد مطالعه بر مبنای دانه گندم
Fig.5. Energy productivity of wheat in selected provinces based on wheat grain

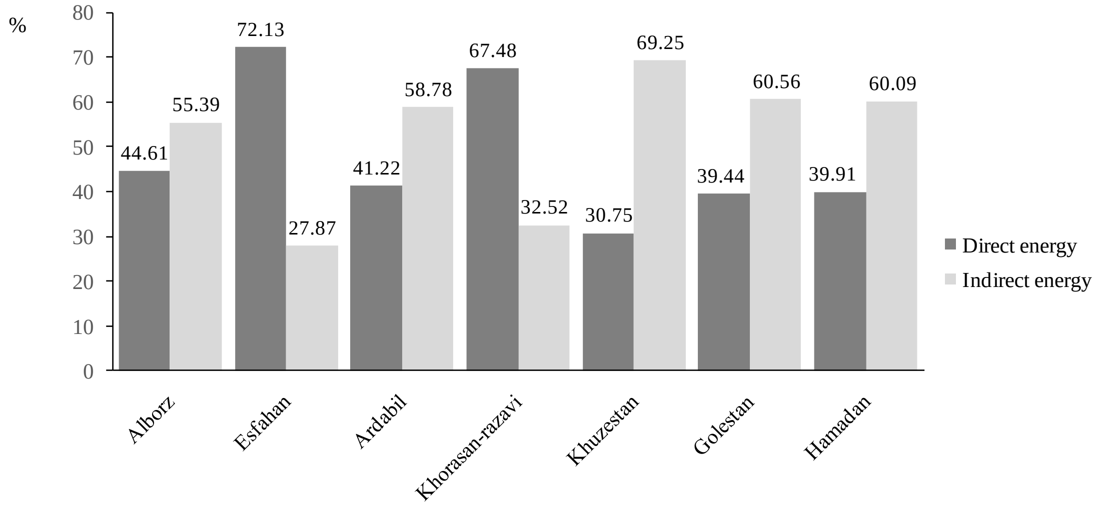
جدول ٦- تجزیه واریانس انرژی ورودی، انرژی ستانده و شاخص‌های انرژی در تولید گندم آبی
Table 6- Analyses of variance for energy input, energy output and energy indices in irrigated wheat production

شاخص انرژی **Energy indices**	واحد **Unit**	میانگین **Mean**	کمینه **Minimum**	بیشینه **Maximum**	خطای استاندارد **Standard error**	آزمون معنی‌داری **Significant test**
کارایی انرژی Energy ratio	-	2.87	0.9	6.42	0.28	**
بهره‌وری انرژی Energy productivity	kg. MJ^{-1}	0.212	0.063	0.476	0.02	**
انرژی ورودی Input energy	MJ. ha^{-1}	58308.83	21834.09	119705.42	6005	**
انرژی ستانده Output energy	MJ. ha^{-1}	136092.15	100997.31	188907.77	2724.1	**

** Significant at level 0.01 — ** معنی‌دار در سطح ۰/۰۱

در شکل‌های ۶ و ۷ ملاحظه می‌شود به‌جز استان‌های اصفهان و خراسان رضوی در سایر استان‌ها سهم انرژی غیرمستقیم بیشتر از انرژی مستقیم و سهم انرژی تجدیدناپذیر بیشتر از انرژی تجدیدپذیر بود. بیشترین و کمترین سهم انرژی مستقیم برای استان اصفهان و خوزستان به‌ترتیب با ۷۲/۱۳ و ۳۰/۷۵ درصد و بیشترین و کمترین سهم انرژی تجدیدپذیر برای استان اصفهان و خوزستان به‌ترتیب با

۶۵/۹۱ درصد و ۱۹/۲۶ درصد تعیین شد. میانگین مقدار انرژی مستقیم و انرژی غیرمستقیم در استان‌های مورد مطالعه به‌ترتیب ۴۷/۹۳ و ۵۲/۰۷ درصد و میانگین مقدار انرژی تجدیدپذیر و انرژی تجدیدناپذیر در استان‌های مورد مطالعه به‌ترتیب ۳۹/۴۵ و ۶۰/۵۵ درصد محاسبه شد. در استان‌های اصفهان و خراسان‌رضوی به‌دلیل مصرف بالای انرژی در استحصال آب، سهم انرژی آبیاری و در نتیجه سهم انرژی مستقیم و انرژی تجدیدپذیر به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است. دلیل بالا بودن سهم انرژی تجدیدناپذیر در بیشتر استان‌های مورد مطالعه این تحقیق، بالا بودن انرژی مصرفی کودهای شیمیایی و سوخت فسیلی بود. به‌منظور کاهش سهم انرژی غیرمستقیم و انرژی تجدیدناپذیر باید مصرف کودهای آلی را جایگزین کودهای شیمیایی کرد و حتی‌المقدور متناسب نیاز و با مصرف بهینه کودهای شیمیایی اقدام به استفاده از آن‌ها کرد (شکل ۶ و ۷). با استفاده از کودهای آلی به‌شکل کود حیوانی یا باقی ماندن بقایای کشت قبلی در زمین می‌توان بخشی از نیتروژن خاک را حفظ نمود و از کودهای نیتروژنه کمتر استفاده نمود. هم‌چنین به‌کارگیری حداقل خاک‌ورزی در عملیات تهیه زمین به مدیریت بقایا و کاهش مصرف کودهای شیمیایی کمک می‌نماید و منجر به افزایش سهم انرژی مستقیم و انرژی تجدیدپذیر می‌شود.



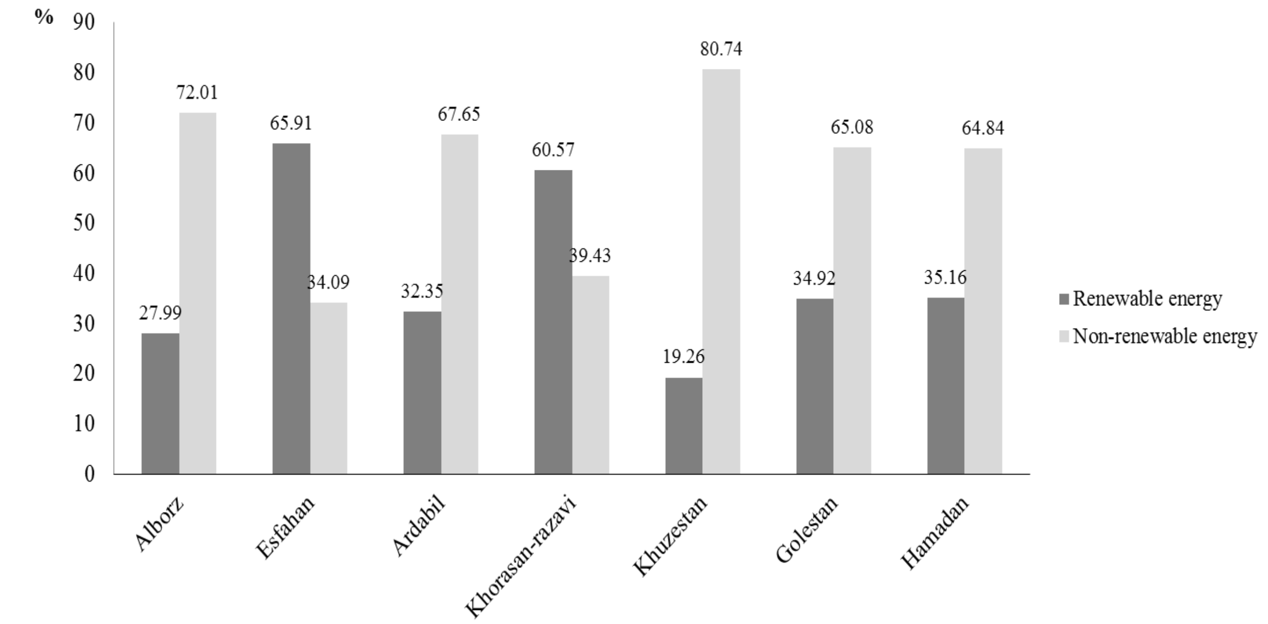
شکل ٦- سهم انرژی‌های مستقیم و غیرمستقیم مصرفی در تولید گندم آبی استان‌های مورد مطالعه
Fig.6. Direct and indirect energies in the production systems of irrigated wheat

با مدیریت بقایای گیاهی و کشاورزی حفاظتی می‌توان مصرف کودهای شیمیایی را کاهش داد. استفاده از روش‌های کم‌خاک‌ورزی به کاهش مصرف سوخت در عملیات تهیه زمین کمک کرده و حداکثر بقایای گیاهی را در سطح مزرعه نگه می‌دارد که علاوه بر کاهش فرسایش و حفظ رطوبت خاک سبب کاهش مصرف کودهای شیمیایی می‌شود. سرویس و نگهداری به‌موقع و مناسب ماشین‌ها و ادوات و به‌کارگیری حداکثر ظرفیت مزرعه‌ای ماشین‌ها سبب کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی می‌شود.

در جدول ۷ شاخص‌های اقتصادی تولید گندم آبی در هفت استان مورد مطالعه آمده است. میانگین سود خالص حاصل از تولید گندم آبی در استان‌های مورد مطالعه ۳۵/۹۶۶ میلیون ریال بر هکتار می‌باشد.

بیشترین سود خالص تولید گندم آبی مربوط به استان خراسان رضوی با ۵۳۲۶۵/۸ هزار ریال بر هکتار و کمترین سود خالص گندم آبی مربوط به استان اصفهان با مقدار ۲۰۷۰۳ هزار ریال بر هکتار به‌دست آمد (جدول ۷). میانگین نسبت فایده به هزینه و بهره‌وری اقتصادی در تولید گندم استان‌های مورد بررسی به‌ترتیب ۲/۱۶ و ۰/۳۱۲ کیلوگرم به‌ازای هزار ریال تعیین شد. بررسی نسبت فایده به هزینه در این تحقیق نشان می‌دهد که تولید گندم آبی مقرون به‌صرفه می‌باشد.

بیشترین نسبت فایده به هزینه برای استان خراسان‌رضوی با مقدار ۲/۸۵ و بیشترین مقدار بهره‌وری اقتصادی تولید گندم برای استان گلستان با مقدار ۰/۵۰۸ کیلوگرم به‌ازای هزار ریال هزینه و سپس استان خوزستان با مقدار ۰/۴۲۲ کیلوگرم به‌ازای هزار ریال هزینه تعیین شد. کمترین مقدار بهره‌وری اقتصادی برای استان همدان با مقدار ۰/۲۱۴ کیلوگرم به‌ازای هزار ریال هزینه به‌دست آمد. گرچه استان‌های گلستان و خوزستان بیشترین بهره‌وری اقتصادی را داشتند ولی استان خراسان‌رضوی بیشترین بهره‌وری اقتصادی را بر مبنای تولید دانه گندم داشت که علت آن از یک سو عملکرد دانه بالا در استان خراسان رضوی و عملکرد کاه نسبتاً پایین این استان و از سوی دیگر هزینه تولید پایین در استان گلستان می‌باشد.



شکل ۷- سهم انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در نظام‌های تولید گندم آبی

Fig.7. Renewable and non-renewable energies in the production systems of irrigated wheat

جدول ۷- شاخص‌های اقتصادی انرژی در تولید گندم آبی

Table 7- Economical energy indices of irrigated wheat production

	هزینه کل تولید Total production cost (10^3 Rial .ha^{-1})	ارزش ناخالص تولید Gross production value (10^3 Rial .ha^{-1})	سود خالص Net return (10^3 Rial .ha^{-1})	نسبت فایده به هزینه Benefit to cost ratio	بهره‌وری اقتصادی Productivity (kg.10^3 Rial^{-1})	شدت انرژی Energy intensiveness (MJ.10^3 Rial^{-1})	ارزش شدت انرژی Energy intensiveness value (MJ.10^3 Rial^{-1})	هزینه انرژی ورودی Total energy cost (10^3 Rial .ha^{-1})	هزینه شدت انرژی Energy intensity cost (Rial .kg^{-1})	هزینه نسبی انرژی Energy ratio cost
Alborz البرز	47885.502	78532.224	30646.722	1.64	0.251	0.949	0.579	57966.15	10853.05	1.21
Esfahan اصفهان	42120	62823	20703	1.49	0.232	2.201	1.476	118223.9	26609.02	2.81
Ardabil اردبیل	39015.747	65863.632	26847.885	1.69	0.256	0.968	0.573	49418.29	11006.3	1.27
خراسان رضوی Khorasan-razavi	28850	82115.8	53265.8	2.85	0.301	3.629	1.275	133507.9	21567.73	4.63
Khuzestan خوزستان	25534	68417.684	42883.684	2.68	0.422	1.996	0.745	64995.15	14404.95	2.55
Golestan گلستان	19704.197	55466.713	35762.515	2.81	0.508	1.330	0.472	33406.06	8211.065	1.70
Hamadan همدان	41937	83591	41654	1.99	0.214	1.177	0.591	62944.02	10291.36	1.50
Average میانگین	35006.635	70972.865	35966.229	2.16	0.312	1.299	0.641	57966.15	10853.05	1.21

در جدول ۷ میانگین شاخص‌های اقتصاد انرژی در مناطق مورد مطالعه آمده است. مقدار میانگین شاخص شدت انرژی مشخص کرد که به‌ازای هزار ریال هزینه در تولید گندم آبی، مقدار ۱/۲۹۹ مگاژول انرژی برای ورود به مزارع تهیه و تامین می‌شود هم‌چنین میانگین ارزش شدت انرژی به‌دست آمده نشان داد که با تامین ۰/۶۴۱ مگاژول انرژی ورودی، مقدار هزار ریال درآمد حاصل می‌گردد.

متوسط هزینه تامین انرژی ورودی مورد نیاز در کشت گندم آبی استان‌های مورد مطالعه ۵۷/۹۶۶۱۵ میلیون ریال بر هکتار محاسبه شد. بیشترین هزینه انرژی ورودی به‌منظور تولید گندم آبی برای استان‌های خراسان‌رضوی و اصفهان به‌ترتیب با ۱۳۳/۵۰۷ و ۱۱۸/۲۲۳ میلیون ریال بر هکتار به‌دست آمد که علت آن هزینه زیاد انرژی برای آبیاری در این دو استان می‌باشد. در جدول ۷ میانگین

شاخص هزینه شدت انرژی ۱۰۸۵۳/۰۵ ریال بر کیلوگرم به‌دست آمد به‌عبارتی برای تولید یک کیلوگرم گندم آبی در این استان‌ها مبلغ ۱۰۸۵۳/۰۵ ریال هزینه انرژی ورودی آن شده است. میانگین هزینه نسبی انرژی نشان می‌دهد به‌ازای هر واحد هزینه در تولید گندم آبی ۱/۲۱ واحد هزینه انرژی آن می‌شود. بیشترین هزینه نسبی انرژی تولید گندم آبی برای استان‌های خراسان‌رضوی و اصفهان به‌دست آمد به بیان دیگر در این استان‌ها هزینه انرژی ورودی به‌ترتیب ۴/۶۳ و ۲/۸۱ برابر هزینه تولید محصول می‌باشد.

نتیجه‌گیری

میانگین انرژی ورودی و خروجی تولید گندم آبی در استان‌های مورد مطالعه به‌ترتیب ۵۸۳۰۸/۸۳ و ۱۳۶۰۹۲/۱۵ مگاژول برهکتار محاسبه شد. میانگین شاخص‌های کارآیی انرژی، بهره‌وری انرژی، افزوده خالص انرژی و شدت انرژی در هفت استان البرز، اصفهان، اردبیل، خراسان‌رضوی، خوزستان، گلستان و همدان به‌ترتیب ۲/۸۷، ۰/۲۱۲ کیلوگرم برمگاژول، ۷۷۷۸۳/۳۱ مگاژول برهکتار و ۶/۰۲ مگاژول برکیلوگرم به‌دست آمد. کارآیی انرژی در تمام مناطق مورد مطالعه بیش از یک محاسبه شد که نشان می‌دهد تولید گندم آبی در استان‌های مورد مطالعه از منظر بیلان انرژی توجیه‌پذیر است. نهاده کودهای شیمیایی و آبیاری بیشترین سهم انرژی مصرفی را از کل انرژی نهاده‌های ورودی در تولید گندم آبی استان‌های مورد مطالعه داشتند.

به‌منظورکاهش سهم انرژی غیرمستقیم و انرژی تجدیدناپذیر باید مصرف کودهای آلی را جایگزین کودهای شیمیایی و بقایای گیاهی را در مزرعه حفظ نمود. هم‌چنین باید در عملیات تهیه زمین از روش‌های حداقل خاک‌ورزی استفاده نمود تا نسبت به کاهش سوخت مصرفی، حفظ ماده آلی و رطوبت خاک و کاهش فرسایش خاک اقدام شود.

با توجه به این تحقیق می‌توان پیشنهادات زیر را به‌منظور بهینه‌سازی مصرف انرژی در تولید گندم کشور توصیه نمود:

استفاده از منابع انرژی به‌صورت کارآمدتر با بهینه‌سازی مصرف انواع نهاده‌های به‌کار رفته در سیستم از طریق انتخاب صحیح نوع، مقدار، روش و زمان مصرف نهاده‌هایی مانند کودها و سموم شیمیایی که این امر کارآیی این نهاده‌ها را افزایش داده و موجب مصرف کمتر انرژی‌های ورودی به مزرعه خواهد شد. برگشت بخشی از بقایای محصول به خاک به‌منظور جبران قسمتی از عناصر برداشت شده از خاک توسط گیاه و افزایش مواد آلی و حاصل‌خیزی خاک جهت کاهش مصرف کودهای شیمیایی به‌ویژه کود نیتروژنه توصیه می‌شود. استفاده از کود سبز و تناوب محصول گندم با بقولات در جهت کاهش مصرف کودهای نیتروژنه ضروری است. استفاده از ماشین‌های مرکب که قادر به انجام چند عملیات هم‌زمان با هم می‌باشد (برای مثال کودپاشی و بذرکاری) و هم‌چنین اجرای خاک‌ورزی حداقل و حفاظتی جهت کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی از طریق کاربرد کمتر ماشین‌ها (کاهش عملیات دیسک) و هم‌چنین کاهش مصرف کودهای شیمیایی از طریق حفظ پوشش خاک زراعی و باقی ماندن بقایا در سطح خاک به‌واسطه سیستم‌های خاک‌ورزی حداقل و انتخاب ادوات و تجهیزات مناسب خاک‌ورزی و اتخاذ شیوه‌های عملیات خاک‌ورزی جدید، این مسئله باید به‌عنوان یک ضرورت ملّی مورد تحقیق و بررسی قرار گیرد و با بررسی بیشتر علمی و انجام تحقیقات گسترده، روش‌ها و ماشین‌ها مناسب جهت عملیات خاک‌ورزی با حداقل توان انرژی مصرفی، شناسایی و به کشاورزان معرفی شود.

References

1. Abdi, R., E. Zarei Shahamat, A. Hematian, and H. Ghasemi Mobtaker. 2013. Optimization of energy required for wheat production in Kermanshah Province of Iran. International Journal of Agriculture: Research and Review 3 (2): 414-422.
2. Alam, M. S., M. R. Alam, and K. K. Islam. 2005. Energy flow in agriculture Bangladesh. American Journal of Environmental Sciences 1 (3): 213-220.
3. Burhan, O., H. Akcaoz, and F. Cemal. 2004. Energy input–output analysis in Turkish agriculture. Renewable Energy 29 (1): 39-51.
4. Canakci, M., M. Topakci, I. Akinci, and A. Ozmerzi. 2005. Energy use pattern of some field crops and vegetable production: Case study for Antalya Region, Turkey. Energy Conversion and Management 46 (4): 655-666.
5. Cochran, William. G. 1997. Sampling Techniques. Third Edition. John Wiley & Sons, New York. 428 pp.
6. Darlington, D. 1997. What is efficient agriculture? Available at URL: http:// www. veganorganic.net/agri.htm.
7. Erdal, G., K. Esengün, H. Erdal, and O. Gündüz. 2007. Energy use and economic analysis of sugar beet production in Tokat Province of Turkey. Energy 32 (1): 35-41.
8. Esengun, K., O. Gunduz, and G. Erdal. 2007. Input-output energy analysis in dry apricot production of Turkey. Energy Conversion and Management 48 (2): 592-598.
9. Ghahdarijani, M., A. R. Keyhani, A. Tabatabaeefar, and M. Omid. 2009. Evaluation and determination of energy consumption for potato production in various levels of cultivated areas in Isfahan province of Iran (Case study: western of Isfahan province). Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 16 (1): 183-195. (In Farsi).

10. Ghasemi Mobtaker, H. G., A. Keyhani, A. Mohammadi, S. Rafiee, and A. Akram. 2010. Sensitivity analysis of energy inputs for barley production in Hamedan Province of Iran. Agriculture, Ecosystems and Environment 137 (3-4): 367-372.
11. Ghorbani, R., F. Mondani, S. Amirmoradi, H. Feizi, S. Khorramdel, M. Teimouri, and H. Aghel. 2011. A case Study of energy use and Economical analysis of Irrigated and dryland wheat production systems. Applied Energy 88 (1): 283-288.
12. Gokdogan, O., and B. Sevim. 2016. Determination of Energy Balance of Wheat Production in Turkey: A Case Study of Eskil District of Aksaray Province. Journal of Tekirdag Agricultural Faculty 13 (4): 36-43.
13. Hamedani, S. R., Z. Shabani, and S. Rafiee. 2011. Energy inputs and crop yield relationship in potato production in Hamadan province of Iran. Energy 36 (5): 2367-2371.
14. Hosseini, S. M., S. Afzalinia, and K. Mollaee. 2014. Energy indices in irrigated wheat production under conservation and conventional tillage and planting methods. Journal of Agricultural Machinery 6 (1): 236-249. (In Farsi).
15. Kazemi, H., B. Kamkar, S. Lakzaei, M. Badsar, and M. Shahbyki. 2015. Energy flow analysis for rice production in different geographical regions of Iran. Energy 84: 390-396.
16. Kazemi, H., and S. Zare. 2014. Investigation and comparison of energy flow in wheat fields of Gorgan and Marvdasht townships. Cereal Research 4 (3): 211-227. (In Farsi).
17. Kitani, O. 1999. CIGR Handbook of Agricultural Engineering, volume 5. Energy and Biomass Engineering. ASAE publication, St Joseph, MI.
18. Mandal, K. G., K. P. Saha, P. K. Ghosh, K. M. Hati, and K. K. Bandyopadhyay. 2002. Bioenergy and economic analysis of soybean based crop production systems in central India. Biomass Bioenergy 23 (5): 337-345.
19. Mohammadi, S., M. A. Maysami, and Y. Ajabshirchi. 2017. Energy Consumption Patterns of Irrigated Wheat Production in Iran. Journal of Agricultural Mechanization 3 (2): 33-41. (In Farsi).
20. Mohammadi, A., S. Rafiee, S. S. Mohtasebi, S. H. Mousavi-Avval. 2011. Energy efficiency improvement and input cost saving in kiwifruit production using Data Envelopment Analysis approach. Renewable Energy 36 (9): 2573-2579.
21. Mohammadi, A., S. Rafiee, S. S. Mohtasebi, and H. Rafiee. 2010. Energy inputs – yield relationship and cost analysis of kiwifruit production in Iran. Renewable Energy 35: 1071-1075.
22. Mohammadshirazi, A., A. Akram, S. Rafiee, S. H. MousaviAvval, and E. Bagheri Kalhor. 2012. An analysis of energy use and relation between energy inputs and yield in tangerine production. Renewable and Sustainable Energy Reviews 16: 4515-4521.
23. Moghimi, M. R., B. M. Alasti, and M. A. Hadad Drafshi. 2013. Energy input-output and study on energy use efficiency for wheat production using DEA. International Journal of Agriculture and Crop Sciences 5 (18): 2064-2070.
24. Mollaei, K., A. Keyhani, M. Karimi, K. Kheir Alipour, and M. Ghasemi, 2009. Energy ratio in rainfed wheat: Case study of Eghlid region. Iranian Journal of Agricultural Science 39 (1): 13-19. (In Farsi).
25. Mousavi-Avval, S. H., S. Rafiee, A. Jafari, and A. Mohammadi. 2011. Optimization of energy consumption for soybean production using Data Envelopment Analysis (DEA) approach. Applied Energy 88 (11): 3756-3772.
26. Ozkan, B., H. Akcaoz, and C. Fert. 2004. Energy input output analysis in Turkish agriculture. Renewable Energy 29 (1): 39-51.
27. Rahman, S., and M. K. Hasan. 2014. Energy Productivity and efficiency of wheat farming in Bangladesh. Energy 66: 107-114.
28. Rafiee, S., S. H. M. Avval, and A. Mohammadi. 2010. Modeling and sensitivity analysis of energy inputs for apple production in Iran. Energy 35 (8): 3301-3306.
29. Rajaby, M. H., A. Soltani, E. Zeinali, and E. Soltani. 2012. Evaluation of energy use in wheat production in Gorgan. Journal of Plant Production 19 (3): 143-172. (In Farsi).
30. Safa, M., and A. Tabatabaeefar. 2002. Energy consumption in wheat production in irrigated and dry land farming. In Proceedings of the International Agricultural Engineering Conference 28-30 Nov., Wuxi, China. p., 183.
31. Sefeedpari, P., Z. Shokoohi, and Y. Behzadifar. 2014. Energy use and carbon dioxide emission analysis in sugarcane farms: a survey on Haft-Tappeh Sugarcane Agro-Industrial Company in Iran. Journal of Cleaner Production 83: 212-219.
32. Shahan, S., A. Jafari, H. Mobli, S. Rafiee, and M. Karimi. 2008. Energy use and economic analysis of wheat production in Iran: A case study from Ardabil province. Journal of Agricultural Technology 4 (1): 77-88.
33. Singh, G., S. Singh, and J. Singh. 2004. Optimization of energy inputs for wheat crop in Punjab. Energy Conversion and Management 45: 453-465.
34. Singh, H., D. Mishra, and N. M. Nahar. 2002. Energy use pattern in production agriculture of a typical village in arid zone, India part I. Energy Conversion and Management 43 (16): 2275-2286.

35. Statistics Reports of Agriculture (Vol. 1). 2017. Ministry of Jihad-e-Agriculture of Iran. Department of Planning and Economy. Statistics and Information Technology Office. Available from: http://dpe.agri-jahad.ir/portal/Home/Default. (In Farsi).
36. Taheri Asl, A., and A. Sadeghi, 2011. Requirements and solutions to optimize energy consumption in the agricultural sector, 8th National Conference on Energy, Tehran, Islamic Republic of Iran's National Energy Committee. (In Farsi).
37. Vahedi, A. and M. Younesi Alamooti. 2017. Determining energy indices of broiler units in the province of Alborz. Agricultural Mechanization and Systems Research 17 (67): 41-54. (In Farsi).
38. Yilmaz, I., H. Akcaoz, and B. Ozkan. 2005. An analysis of energy use and input costs for cotton production in Turkey. Renewable Energy 30 (2): 145-155.
39. Ziaei, S. M., S. M. Mazloumzadeh, and M. Jabbary. 2015. A comparison of energy use and productivity of wheat and barley (case study). Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences 14 (1): 19-25.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 11, No. 2, Fall- Winter 2021, p. 505-523

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۴۰۰، ص ۵۲۳-۵۰۵

Evaluation Energy Flow and Analysis of Energy Economy for Irrigated Wheat Production in Different Geographical Regions of Iran

A. Vahedi[1*], S. Zarifneshat[2]

Received: 06-07-2019
Accepted: 08-10-2019

Introduction

Agriculture is an energy conversion process. In this process, solar energy, fossil fuel, and electricity are converted mainly into food and fiber. In the agricultural section, the trend of energy consumption increases rapidly every year. Constraints on agricultural land, population growth, changes in infrastructure, and a trend towards high living standards have contributed to increase energy use in the agricultural sector. Fuel, electricity, machinery, seeds, chemical fertilizers, and chemical pesticides have a significant share in supplying energy sources. Effective use of energy in agriculture reduces environmental problems and prevents the destruction of natural resources and develops sustainable agriculture as an economic production system. Wheat is the most strategic crop in Iran that more than 50.39% of arable land belongs to wheat.

Materials and Methods

The current study has been done with the objects of evaluation of inputs and crop yield, input and output energy, and energy indices for irrigated wheat for seven provinces such as Alborz, Isfahan, Ardebil, Khorasan-e Razavi, Khuzestan, Golestan, and Hamadan. For this purpose, the required information gathered via study of publications, face to face interview with experts and leading farmers, and questionnaire completion by the irrigated wheat farmers in different cities of each understudy province. Then, with the help of equivalent energy equations, input and output energy and energy indices were calculated. In this research, simple random sampling method was used.

Results and Discussion

According to the results, total input energies of Alborz, Isfahan, Ardebil, Khorasan-e Razavi, Khuzestan, Golestan, and Hamadan provinces were calculated with 45458.84, 92714.8, 38755.34, 104701, 50971.2, 26198, and 49362. 64 MJ ha^{-1} respectively, while the output energy for those provinces were 162169.28, 131958.8, 77381.39, 122297, 141901.2, 134106, and 125511.69 MJ ha^{-1}, respectively. The maximum share of energy input for Alborz, Ardebil, Khuzestan, Golestan, and Hamadan provinces were regarding to chemical fertilizers with amounts of 43.06, 43.16, 58.33, 38.05, and 47.57 percent, respectively, while irrigation energy requirement had maximum share in Isfahan and Khorasan-e Razavi with 62.36 and 57.17 percent, respectively. The minimum share of energy input for Alborz, Isfahan, Ardebil, Khorasan-e Razavi, and Golestan provinces was calculated for labor energy requirement with 0.39, 0.29, 0.79, 0.18, and 0.26 percent, respectively, while in Khuzestan and Hamadan, chemicals consumed the lowest energy with 0.55 and 0.89 percent, respectively. Share of direct energies for all understudy provinces were 44.61, 72.13, 41.22, 67.48, 30.75, 39.44, and 39.91 percent, share of indirect energies were 55.39, 27.87, 58.78, 32.52, 69.25, 60.56, and 60.09 percent, share of renewable energies were 27.99, 65.91, 32.35, 60.57, 19.26, 34.92, and 35.16 percent, and share of nonrenewable energies were 72.01, 34.09, 67.65, 39.43, 80.74, 65.08, and 64.84 percent, respectively. Energy ratio for Alborz, Isfahan, Ardebil, Khorasan-e Razavi, Khuzestan, Golestan, and Hamadan provinces were 3.57, 1.42, 3.48, 1.17, 2.78, 5.12, and 2.54, respectively, and energy productivities were 0.26, 0.11, 0.26, 0.08, 0.21, 0.38, and 0.18 kg MJ^{-1}, respectively. Average input energy, output energy, energy ratio, energy productivity, and net energy gain for all provinces were 58308.83 MJ ha^{-1}, 136092.15 MJ ha^{-1}, 2.87, 0.212 kg MJ^{-1} and 77783. 31 MJ ha^{-1}, respectively. Total input energy cost for irrigated wheat production was 57.966 $\times 10^6$ Rial ha^{-1}. The Energy intensiveness, Energy intensiveness value, Energy intensity cost, and Energy ratio cost were found as 1.299 MJ (10^3 Rial)$^{-1}$, 0.641 MJ (10^3 Rial)$^{-1}$, 10853.05 Rial kg^{-1}, and 1.21, respectively.

Conclusions

In order to reduce the share of indirect energy and non-renewable energy, organic fertilizers should be replaced by chemical fertilizers and plant residues in the field. Minimum tillage should also be used in land preparation operations to reduce fuel consumption, maintain organic matter and soil moisture and reduce soil erosion. To compensate for some of the elements taken from the soil by the plant and the increase of organic

1- Associate Professor in Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
2- Associate Professor, Agricultural Engineering Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education center, AREEO, Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: vahedi_adel@yahoo.com)

matter and fertility of the soil, it is recommended to return part of the plant residues to the soil. The use of combined machines that can perform several simultaneous operations and minimizing and protecting soil tillage to reduce fossil fuel consumption through minimum use of machinery should be investigated as a national necessity.

Keywords: Energy efficiency, Energy intensity cost, Inputs, Outputs, Wheat